



David J. Cushing
T 202-663-7925
dcushing@sughrue.com

May 11, 2001

BOX PATENT APPLICATION
Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

J1046 U.S. PTO
09/852651
05/11/01

2100 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, DC 20037-3213

T 202.293.7060
F 202.293.7860

1010 El Camino Real
Menlo Park, CA 94025-4345

T 650.325.5800
F 650.325.6606

Toei Nishi Shimbashi Bldg. 4F
13-5 Nishi Shimbashi 1-Chome
Minato-Ku, Tokyo 105-0003
Japan

T 03.3503.3760
F 03.3503.3756

www.sughrue.com

Re: Application of Ludovic FLEURY, Louis-Anne de MONTMORILLON, Pierre
SILLARD, Pascale NOUCHI, Max MATAU
A METHOD OF FABRICATING AN OPTICAL FIBER WITH CONTROLLED
TRANSMISSION CHARACTERISTICS
Assignee: ALCATEL
Our Ref. Q64436

Dear Sir:

Attached hereto is the application identified above including 16 sheets of the specification, including the claims and abstract, 0 sheets of drawings, executed Assignment and PTO 1595 form, and executed Declaration and Power of Attorney. Also enclosed is the Information Disclosure Statement.

The Government filing fee is calculated as follows:

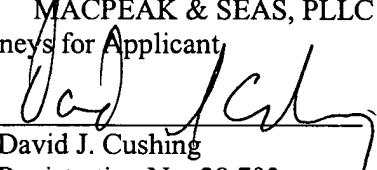
Total claims	9 - 20	=		x	\$18.00	=	\$0.00
Independent claims	1 - 3	=		x	\$80.00	=	\$0.00
Base Fee							\$710.00

TOTAL FILING FEE	\$710.00
Recordation of Assignment	\$40.00
TOTAL FEE	\$750.00

Checks for the statutory filing fee of \$710.00 and Assignment recordation fee of \$40.00 are attached. You are also directed and authorized to charge or credit any difference or overpayment to Deposit Account No. 19-4880. The Commissioner is hereby authorized to charge any fees under 37 C.F.R. §§ 1.16 and 1.17 and any petitions for extension of time under 37 C.F.R. § 1.136 which may be required during the entire pendency of the application to Deposit Account No. 19-4880. A duplicate copy of this transmittal letter is attached.

Priority is claimed from May 25, 2000 based on French Application No. 0006694. The priority document is enclosed herewith.

Respectfully submitted,
SUGHRUE, MION, ZINN,
MACPEAK & SEAS, PLLC
Attorneys for Applicant

By: 
David J. Cushing
Registration No. 28,703

"

f



2
R.I.#.
2801
Q64432
1081

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION



COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **24 AVR. 2001**

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30
<http://www.inpi.fr>





26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



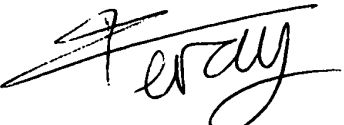

N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

12
16 540 W, 25x370

REMISE DES PIÈCES DATE 25 MAI 2000 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0006694 DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 25 MAI 2000		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Valérie FERAY 30 avenue Kléber 75116 PARIS	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 102834/VF/TEL/TPM			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE DE FABRICATION D'UNE FIBRE OPTIQUE AVEC CONTROLE DES CARACTERISTIQUES DE TRANSMISSION			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5 4 2 0 1 9 0 9 6	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	54, rue La Boétie	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE 25 MAI 2000 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0006694		CB 545 W 266399	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		102834/VF/TEL/TPM	
6 MANDATAIRE			
Nom		FERAY	
Prénom		Valérie	
Cabinet ou Société		Compagnie Financière Alcatel	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 8182	
Adresse	Rue	30 Avenue Kléber	
	Code postal et ville	75116	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence);	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	
Valérie FERAY / LC 40 B 			

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1./2..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W - 12/00gr

Vos références pour ce dossier <i>(facultatif)</i>		102834/VF/TEL/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		000 6694	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCÉDE DE FABRICATION D'UNE FIBRE OPTIQUE AVEC CONTRÔLE DES CARACTÉRISTIQUES DE TRANSMISSION			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		FLEURY	
Prénoms		Ludovic	
Adresse	Rue	Résidence «La Forêt» 51 rue Jean Racine	
	Code postal et ville	78390 BOIS D'ARCY, FRANCE	
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>			
Nom		DE MONTMORILLON	
Prénoms		Louis-Anne	
Adresse	Rue	61 rue La Condamine	
	Code postal et ville	75017 PARIS, FRANCE	
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>			
Nom		SILLARD	
Prénoms		Pierre	
Adresse	Rue	25 rue d'Alembert	
	Code postal et ville	75014 PARIS, FRANCE	
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>			
DATE ET SIGNATURE(S) RIX DU MANDATAIRE RIX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		23 mai 2000 Valérie FERAY 	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08


téléphone : 01 33 04 33 04 Télécopie : 01 42 33 33 33

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2./2.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W 126089

Vos références pour ce dossier <i>(facultatif)</i>		102834/VF/TEL/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0006694	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE DE FABRICATION D'UNE FIBRE OPTIQUE AVEC CONTROLE DES CARACTERISTIQUES DE TRANSMISSION			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		NOUCHI	
Prénoms		Pascale	
Adresse	Rue	2 avenue Bossuet	
	Code postal et ville	78600	MAISONS LAFFITTE, FRANCE
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>			
Nom		MATAU	
Prénoms		Max	
Adresse	Rue	7, Place André MALRAUX	
	Code postal et ville	92390	VILLENEUVE LA GARENNE, FRANCE
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>			
DATE ET SIGNATURE(S) XXXXXX XXXXXX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		23 mai 2000 Valérie FERAY 	

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE FIBRE OPTIQUE AVEC CONTROLE DES CARACTERISTIQUES DE TRANSMISSION

L'invention concerne les fibres optiques utilisées notamment pour les réseaux
 5 de télécommunications, et plus précisément la fabrication des fibres optiques.

Il est connu, pour la fabrication de fibres optiques, de fabriquer des préformes avec des dopages radiaux fonction du profil d'indice recherché dans la fibre, puis de procéder au fibrage ou étirage de la préforme pour obtenir la fibre optique. Un procédé classique de fabrication de préforme consiste à déposer
 10 successivement des couches de silice par MCVD (dépôt chimique en phase vapeur modifié) dans un tube de dépôt, de sorte à former un cœur de préforme, puis à former un manchon ou recharge autour du tube de dépôt; le manchon est généralement déposé sur la préforme de sorte que le diamètre extérieur de la préforme soit constant. D'autres techniques de fabrication comprennent l'OVD (dépôt
 15 de vapeur extérieur, en anglais "outside vapour deposition"), le VAD (dépôt de vapeur axial, en anglais " vapour axial deposition"). La préforme ainsi constituée est ensuite étirée.

Pour des applications dans les systèmes de transmission optiques, il est souhaitable que les caractéristiques de propagation des fibres – par exemple la
 20 dispersion chromatique – soient bien contrôlées le long de la fibre. On peut chercher à obtenir une valeur constante de dispersion, ou à faire varier de façon contrôlée la dispersion entre des valeurs opposées, comme proposé par exemple dans EP-A- 0 737 873. Les caractéristiques de propagation sont fonction du profil d'indice de la fibre, caractérisé par les indices de réfraction et rayons des couches déposées par
 25 MCVD, OVD ou VAD. Malgré tout le soin apporté à la fabrication de la préforme, il est possible que la préforme présente des défauts, et ne soit pas parfaitement homogène, ou plus généralement, ne soit pas parfaitement conforme aux valeurs de consigne.

De façon générale, on appelle pour une fibre "rayon de cœur" la valeur du
 30 rayon au delà de laquelle des variations de l'indice ou des rayons par rapport à la valeur de consigne n'ont qu'une influence minimale sur les caractéristiques de propagation de la fibre. Autrement dit, il s'agit de la fin du profil déterminant les caractéristiques de propagation de la fibre. A titre d'exemple, pour un profil en "step"

(saut d'indice), le rayon de cœur correspond au rayon extérieur du saut d'indice. Pour un profil en trapèze et anneau, le rayon de cœur correspond au rayon extérieur de l'anneau. Cette définition se transpose à une préforme, par simple homothétie. Il importe de noter que le rayon de cœur ainsi défini pour une préforme peut être

5 sensiblement différent du rayon intérieur du tube de dépôt.

Ces défauts sont par exemple des variations le long de la préforme du diamètre du cœur de la préforme, des rayons de couches déposées ou du diamètre extérieur de la préforme, par rapport aux valeurs nominales. Il peut aussi s'agir de variations le long de la préforme des indices des différentes couches de la préforme, par rapport aux indices de consigne. A titre d'exemple, une dilatation radiale de 1 à 2 % dans le diamètre du cœur de la préforme peut induire pour une fibre à pente de dispersion chromatique plate, des variations de dispersion chromatique de 1 à 2 ps/(nm.km) à 1550 nm; de telles variations diminuent le rendement de production. Pour des fibres DCF (fibre de compensation de dispersion) ou des fibres RDF (fibres à dispersion inverse), les variations des caractéristiques de la préforme peuvent induire des variations de dispersion atteignant 10 ps/(nm.km) à 1550 nm.

WO-A-98 25 861 décrit pour des applications de transmission en régime solitons une fibre de diamètre extérieur variable. Ce document mentionne que la dispersion varie comme le diamètre de la fibre. Il est proposé dans un premier mode de réalisation de ce document de déposer pour former une préforme des couches déposées présentant une épaisseur croissante d'une extrémité de la préforme à l'autre. On entoure le cœur de préforme conique ainsi formé d'une gaine avant de procéder à l'étirage de la fibre. Dans un deuxième mode de réalisation de ce document, il est proposé de former une préforme en déposant des couches d'épaisseur constante, mais avec des proportions de dopant variables. Dans un cas comme dans l'autre, l'étirage de la préforme fournit une fibre de diamètre constant dont les caractéristiques de propagation varient en fonction de la position le long de la fibre.

L'invention propose une solution au problème du contrôle des caractéristiques de propagation d'une fibre optique, du fait des variations des caractéristiques de la préforme par rapport aux caractéristiques de consigne. Elle permet une correction fine des défauts ou irrégularités des préformes, et assure un

meilleur contrôle des caractéristiques de propagation des fibres obtenues. Elle est aussi d'une mise en œuvre simple.

Plus précisément, l'invention propose un procédé de fabrication d'une fibre optique par étirage d'une préforme, comprenant :

- 5 – la détermination des variations des caractéristiques de la préforme par rapport aux caractéristiques de consigne, et
- la modification du diamètre de la fibre au cours de l'étirage, en fonction des dites variations.

- De préférence, la modification du diamètre de la fibre s'effectue de sorte à
- 10 compenser l'effet des dites variations sur les caractéristiques de propagation de la fibre.

- Dans un mode de réalisation, la préforme présente un diamètre extérieur constant, et l'étape de détermination comprend la mesure du diamètre du cœur de la préforme. Dans ce cas, la modification du diamètre de la fibre s'effectue
- 15 avantageusement de sorte que la variation relative du diamètre soit opposée à la variation relative du diamètre du cœur de la préforme.

- Dans un autre mode de réalisation, les caractéristiques sont des caractéristiques géométriques, telles que le diamètre de la préforme, les rayons des couches de la préforme ou le diamètre du cœur de préforme. Les caractéristiques
- 20 peuvent aussi ou alternativement être des caractéristiques optiques, telles que les indices des différentes couches de la préforme.

- De préférence, les modifications du diamètre de la fibre sont inférieures à une valeur limite prédéterminée, par exemple les modifications du diamètre de la fibre sont inférieures à $2\text{ }\mu\text{m}$, ou inférieures à $\pm 2\%$ du diamètre nominal de la fibre.

- 25 L'invention concerne aussi une fibre optique obtenue selon ce procédé.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple uniquement.

- L'invention propose, pour compenser les variations des caractéristiques de la
- 30 préforme par rapport aux valeurs de consigne, de faire varier le diamètre de la fibre au cours du fibrage. La variation du diamètre de la fibre permet de compenser en tout ou partie les variations des caractéristiques de la préforme par rapport aux valeurs de consigne. L'invention repose sur la constatation qu'une variation limitée –

typiquement de ± 1 à ± 2 % – du diamètre de la fibre permet de compenser des inhomogénéités ou irrégularités de la préforme, et n'est pas gênante du point de vue de la propagation ultérieure dans la fibre.

- La modification du diamètre de fibre au cours de l'étirage de la préforme
- 5 permet de recentrer les caractéristiques de propagation dans leurs intervalles de spécification, dès que les caractéristiques géométriques – le diamètre de cœur de la préforme, les rayons des couches déposées, ou encore le diamètre extérieur de la préforme – ou les caractéristiques optiques – par exemple les indices des différentes couches de la préforme – s'écartent de leur valeur de consigne.
- 10 La variation de diamètre au cours de l'étirage dépend de la préforme, et plus exactement des caractéristiques de la préforme – par exemple le rayon de cœur, les rayons de couches déposées, le rayon extérieur de la préforme ou les indices dans la préforme. Ces caractéristiques peuvent être mesurées sur une préforme. Une telle mesure s'effectue sur un banc de mesure, par des techniques connues en soi. On
- 15 peut par exemple utiliser pour la mesure du profil d'indice de réfraction de la préforme le banc de mesure commercialisé sous la référence P104 par la société PhotoKinetics.

- La mesure de la préforme peut par exemple porter sur le diamètre extérieur et sur le diamètre de cœur de la préforme. On peut aussi le cas échéant mesurer
- 20 l'ensemble du profil d'indice de la préforme. Le pas de la mesure peut être de quelques cm le long de la préforme; pour des procédés classiques de fabrication de la préforme, les variations du diamètre de cœur ou des autres caractéristiques par rapport aux valeurs nominales sont faibles le long de la préforme; un tel pas de mesure peut suffire pour repérer les variations des caractéristiques de la préforme
- 25 par rapport aux valeurs de consigne.

- A partir des caractéristiques géométriques ou optiques mesurées de la préforme; par exemple à partir du diamètre de cœur de la fibre et des caractéristiques optiques – indices et diamètres des sections déposées par CVD – des différentes parties de la préforme, on peut déterminer avant fibrage avec des outils
- 30 de simulation classiques les caractéristiques de propagation de la fibre correspondantes aux différentes sections de la préforme, pour différents diamètres de fibrage.

L'invention propose de faire varier le diamètre extérieur de la fibre de sorte à contrôler les caractéristiques de propagation dans la fibre. Pour un fibrage classique, la variation du diamètre de la fibre peut s'effectuer au cours du fibrage de deux façons:

- 5 - par modification de la vitesse du cabestan de fibrage, ou
- par modification de la vitesse de descente de la préforme.

La première méthode permet une variation rapide du diamètre de la fibre; typiquement, on peut par une variation de la vitesse du cabestan modifier le diamètre de la fibre d'environ 2% sur une longueur de fibre de l'ordre du mètre pour
 10 une vitesse de fibrage de 200 à 2000 m/min; une telle variation du diamètre de fibre est bien adaptée pour des variations du diamètre de fibre sur des petites distances. La deuxième méthode permet une variation plus lente du diamètre de fibre, et permet de garder une vitesse de fibrage (ou vitesse du cabestan) constante. Une variation du diamètre de la fibre d'environ 2% s'obtient typiquement sur une longueur
 15 de fibre de 6 km environ.

Les deux méthodes peuvent être combinées; ainsi, il peut suffire de modifier la vitesse de descente de la préforme pour s'adapter aux variations mesurées; toutefois, on peut aussi agir directement sur la vitesse du cabestan de fibrage pour obtenir une régulation plus rapide, puis modifier ensuite la vitesse de descente de la
 20 préforme tout en revenant à la vitesse de fibrage originale. Ceci présente l'avantage d'une adaptation rapide aux variations, tout en conservant autant que possible la vitesse de fibrage normale.

A titre d'exemple, pour un profil à saut d'indice, on considère l'exemple où la mesure de la préforme indique que le rapport r entre le diamètre de cœur de la
 25 préforme (tel que défini plus haut) et le diamètre extérieur de la préforme est supérieur au rapport de consigne – toutes choses égales par ailleurs. Dans ce cas, pour un diamètre extérieur nominal constant de fibre, le diamètre de cœur de fibre est supérieur au diamètre de consigne; la dispersion chromatique de la fibre augmente alors par rapport à la valeur de consigne. L'invention propose donc dans
 30 cette hypothèse, de faire diminuer le diamètre extérieur de la fibre; le diamètre du cœur de fibre diminue aussi, et se rapproche de la valeur de consigne. La diminution du diamètre extérieur de la fibre permet dans ce cas de compenser la variation du

rapport r par rapport à sa valeur nominale – les autres caractéristiques et notamment les caractéristiques optiques de la préforme étant conformes aux valeurs de consigne.

En sens inverse, si la mesure de la préforme révèle que le rapport entre le diamètre de cœur de la préforme et le diamètre extérieur de la préforme est inférieur
 5 au rapport de consigne, l'invention propose d'augmenter le diamètre extérieur de la fibre, pour compenser l'influence sur les caractéristiques de propagation de la fibre des variations géométriques de la préforme par rapport aux valeurs de consigne.

Dans l'exemple décrit ci-dessus, il est proposé d'utiliser des outils de simulation pour évaluer l'influence des variations de la préforme. On pourrait aussi
 10 utiliser à cet effet des mesures sur des préformes et des fibres réelles correspondantes, et constituer une base de données associant les caractéristiques de la préforme et les caractéristiques de la fibre. Plus généralement, on peut utiliser toute solution permettant d'associer des caractéristiques de la fibre à des variations des caractéristiques de la préforme par rapport aux valeurs de consigne, pour
 15 calculer les variations du diamètre de fibre à appliquer lors de l'étirage de la préforme.

Dans le cas le plus simple, pour un diamètre extérieur de préforme constant, la variation relative du diamètre de fibre par rapport à la valeur de consigne est opposée à la variation relative du diamètre de cœur de préforme par rapport à la
 20 valeur de consigne, de sorte à ce que le diamètre du cœur de la fibre reste constant ou sensiblement constant.

Plus généralement, on peut déterminer les variations du diamètre extérieur de la fibre de sorte que le diamètre du cœur de fibre tende vers une valeur qui compense au mieux les variations de toutes les caractéristiques géométriques ou
 25 optiques de la préforme par rapport aux caractéristiques de consigne.

Si la mesure des caractéristiques de la préforme est discrète, on peut appliquer des variations discrètes du diamètre de la fibre. Ainsi, pour un pas de mesure de quelques cm, on peut calculer des valeurs de diamètre de la fibre dans des plages de l'étirage correspondant à quelques cm de la préforme, de part et
 30 d'autre des points de mesure. On fait ensuite varier le diamètre de fibre en fonction des diamètres calculés pour ces points discrets, avec une interpolation linéaire ou polynomiale.

Par ailleurs, l'invention propose aussi de limiter les variations du diamètre extérieur de la fibre; pour un diamètre nominal de $125\ \mu\text{m}$, elle propose que les variations de diamètre soient au maximum de $\pm 2\ \mu\text{m}$, ou en valeur relative de $\pm 2\ \%$. Limiter les variations de diamètre de la fibre permet de limiter les variations des

5 caractéristiques de propagation, et évite que les variations de diamètre n'aient un effet plus gênant que les écarts aux valeurs de consigne induites par la préforme. Cette limite permet aussi de rester dans les spécifications géométriques de la fibre, en termes de diamètre extérieur.

On donne maintenant des exemples de mise en œuvre de l'invention, dans

10 le cas d'une fibre DCF, dont les caractéristiques de propagation à $1550\ \text{nm}$ sont les suivantes :

- dispersion chromatique C : $- 75\ \text{ps}/(\text{nm.km})$;
- pente de dispersion chromatique C' : $- 0,50\ \text{ps}/(\text{nm}^2.\text{km})$;
- section efficace : $20\ \mu\text{m}^2$;
- 15 - diamètre de mode $2W_{02}$: $5\ \mu\text{m}$;

Cette fibre présente un profil en échelon+anneau, avec un cœur d'un diamètre nominal de $15\ \mu\text{m}$; la préforme nécessaire pour l'obtenir présente un profil analogue. On considère dans les exemples des variations du rayon de cœur A de la préforme et de l'indice Δn de l'échelon.

20 Dans un premier exemple, on ne considère que des variations du rayon de cœur A de la préforme, le profil d'indice restant homothétique au profil d'indice nominal; cette variation est indiquée dans la première colonne du tableau. Cette variation conduit selon l'invention à une variation de signe opposé du diamètre de fibre.

25 Dans le tableau suivant, la colonne Δfibre donne en pour cents la variation du cœur de fibre. Si l'invention n'est pas mise en œuvre, pour une telle variation de $\pm 2\%$ du rayon de cœur A , la surface effective varie entre $19.2\ \mu\text{m}^2$ et $22.3\ \mu\text{m}^2$. En contrôlant le diamètre de la fibre comme le propose l'invention, dans une plage d'environ $\pm 2\%$, toutes les caractéristiques de propagation peuvent être maintenues à

30 leurs valeurs nominales. Le tableau montre les variations de caractéristiques de propagation lorsque l'invention est mise en œuvre. Dans chaque cas, Δ_{av} et Δ_{ap} sont respectivement les écarts en valeur relative de la quantité considérée à sa valeur

nominale sans mise en œuvre de l'invention (sans correction du diamètre de la fibre)
ou après mise en œuvre de l'invention (avec correction du diamètre fibre).

Les valeurs du tableau montrent que la variation de la surface effective S_{eff} ,
de la dispersion chromatique C et de la pente de dispersion chromatique C' sont

- 5 effectivement compensées par la mise en œuvre de l'invention.

	$\Delta_{fibre} (\%)$	$S_{eff} (\mu m^2)$		$C (ps/nm/km)$		$C' (ps/nm^2/km)$	
		$\Delta av (\%)$	$\Delta ap (\%)$	$\Delta av (\%)$	$\Delta ap (\%)$	$\Delta av (\%)$	$\Delta ap (\%)$
A varie de +2%	-2	-4	0	+22.6	0	+18	0
A varie de -2%	+2	+12.5	0	-31	0	-19.4	0

Dans un deuxième exemple, on ne considère que des variations de l'indice
 Δn du cœur de la préforme, tous les autres paramètres étant fixés. On considère une

- 10 variation du diamètre de fibre de sorte à maintenir une surface effective constante,
dans une plage de $\pm 0,1\%$. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau qui suit,
avec les mêmes notations que précédemment.

	$\Delta_{fibre} (\%)$	$S_{eff} (\mu m^2)$		$C (ps/nm/km)$		$C' (ps/nm^2/km)$	
		$\Delta av (\%)$	$\Delta ap (\%)$	$\Delta av (\%)$	$\Delta ap (\%)$	$\Delta av (\%)$	$\Delta ap (\%)$
Δn varie de +2%	-1.8	-5.4	0	+14	-9	+13	-5.6
Δn varie de -2%	+2	+8	0	-20.6	+7.5	-21	-1

- 15 Le tableau montre que les variations du diamètre de fibre sont de signe
opposé aux variations d'indice du cœur. Il montre aussi que l'invention permet de
maintenir constante la surface effective, toutefois au prix de variations de la
dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique; ces variations sont
toutefois nettement inférieures aux variations correspondantes lorsque l'invention n'est
20 pas mise en œuvre.

Dans un troisième exemple, on ne considère que des variations de l'indice
 Δn du cœur de la préforme, tous les autres paramètres étant fixés. On considère une
variation du diamètre de fibre de sorte à maintenir une dispersion chromatique
constante, dans une plage de $\pm 0,1\%$. Les résultats obtenus sont donnés dans le

- 25 tableau qui suit, avec les mêmes notations que précédemment.

	$\Delta_{\text{fibre}} (\%)$	$S_{\text{eff}} (\mu\text{m}^2)$		$C (\text{ps/nm/km})$		$C' (\text{ps/nm}^2/\text{km})$	
		$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$	$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$	$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$
Δn varie de +2%	-1.15	-5.4	-2.4	+14	0	+13	+1
Δn varie de -2%	+1.45	+8	+1.6	-20.6	0	-21	-7.6

Le tableau montre que les variations du diamètre de fibre sont de signe opposé aux variations d'indice du cœur. Il montre aussi que l'invention permet de

5 maintenir constante la dispersion chromatique, dans la plage recherchée; comme dans l'exemple précédent, les autres paramètres de propagation – la surface effective et la pente de dispersion chromatique – varient; ces variations sont toutefois nettement inférieures aux variations correspondantes lorsque l'invention n'est pas mise en œuvre.

- 10 Dans un quatrième exemple, on ne considère que des variations de l'indice Δn du cœur de la préforme, tous les autres paramètres étant fixés. On considère une variation du diamètre de fibre de sorte à maintenir une pente de dispersion chromatique constante, dans une plage de $\pm 0,1\%$. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau qui suit, avec les mêmes notations que précédemment.

15

	$\Delta_{\text{fibre}} (\%)$	$S_{\text{eff}} (\mu\text{m}^2)$		$C (\text{ps/nm/km})$		$C' (\text{ps/nm}^2/\text{km})$	
		$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$	$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$	$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$
Δn varie de +2%	-1.25	-5.4	-2	+14	-1	+13	0
Δn varie de -2%	+2.1	+8	-0.7	-20.6	+7.5	-21	0

Le tableau montre encore que les variations du diamètre de fibre sont de signe opposé aux variations d'indice du cœur. Il montre aussi que l'invention permet de maintenir constante la pente de dispersion chromatique, dans la plage

20 recherchée; comme dans les deux exemples précédents, les autres paramètres de propagation – la surface effective et la dispersion chromatique – varient; ces variations sont encore une fois nettement inférieures aux variations correspondantes lorsque l'invention n'est pas mise en œuvre.

- Dans un cinquième exemple, on considère encore des variations de l'indice
- 25 Δn du cœur de la préforme, tous les autres paramètres étant fixés. On cherche dans

l'exemple à maintenir la surface effective dans une plage de $\pm 1\%$ de la valeur nominale. Le fait d'accepter des variations plus importantes de la surface effective permet, par rapport au deuxième exemple, de limiter encore plus les variations de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique. Les résultats

- 5 obtenus sont donnés dans le tableau qui suit, avec les mêmes notations que précédemment.

	$\Delta_{\text{fibre}} (\%)$	$S_{\text{eff}} (\mu\text{m}^2)$		$C (\text{ps/nm/km})$		$C' (\text{ps/nm}^2/\text{km})$	
		$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$	$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$	$\Delta_{\text{av}} (\%)$	$\Delta_{\text{ap}} (\%)$
Δn varie de $+2\%$	-1.6	-5.4	-1	+14	-6	+13	-3.4
Δn varie de -2%	+1.6	+8	+1	-20.6	+2.3	-21	-6

- Le tableau montre que les variations du diamètre de fibre sont de signe
 10 opposé aux variations d'indice du cœur. Il montre aussi que l'invention permet de limiter les variations de la surface effective, de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique.

- Les exemples proposés sont représentatifs de diverses stratégies
 d'optimisation de la fibre. D'autres stratégies sont possibles, en fonction des
 15 paramètres de propagation qui sont pertinents. On pourrait notamment considérer les stratégies suivantes :

- détermination des corrections du diamètre de fibrage à partir de la
 mesure du cœur de préforme; cette détermination suppose le diamètre
 extérieur de la préforme constant et ignore les variations d'indice ainsi
 20 que les variations entre les rapports entre rayons des couches déposées
 jusqu'au rayon de cœur de la préforme, le profil étant supposé
 uniquement dilaté;
- détermination des corrections du diamètre de fibrage à partir des
 données géométriques du profil, par mesure du cœur de préforme et
 des rayons des couches déposées; cette détermination suppose le
 25 diamètre extérieur de la préforme constant;
- détermination des corrections du diamètre de fibrage à partir des
 données géométriques du profil, par mesure du cœur de préforme, des

rayons des couches déposées, mais aussi du diamètre extérieur de préforme;

- détermination des corrections du diamètre de fibrage à partir des données géométriques et optiques du profil, par mesure du cœur de préforme, des rayons des couches déposées, du diamètre extérieur de préforme, mais aussi des indices des différentes couches déposées.

On n'a pas non plus dans les exemples considérés des variations simultanées du diamètre de cœur et de l'indice de cœur. En pratique, lorsque le rayon et l'indice de cœur s'écartent tous deux de leurs valeurs nominales, on peut chercher une solution optimale qui vise à recentrer au mieux les 3 caractéristiques de propagation dans leurs intervalles de spécifications.

Enfin, de façon très générale, on peut envisager des variations de plusieurs paramètres du profil d'indice. Une solution optimale existe, du même type que la solution proposée dans le cinquième exemple, qui vise à recentrer au mieux les caractéristiques de propagation dans des intervalles de spécifications donnés. Cette solution optimale se détermine comme expliquée plus haut, par exemple par simulation.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux exemples et modes de réalisation décrits et représentés, mais elle est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art. On peut déterminer les variations du diamètre de fibre suivant des méthodes autres que celles décrites ci-dessus. On peut aussi considérer d'autres caractéristiques que les caractéristiques géométriques, et notamment les caractéristiques optiques.

Dans les modes de réalisation, l'invention est décrite dans une application permettant de conserver une valeur constante de la surface effective, de la dispersion chromatique ou de la pente de dispersion chromatique. Elle s'applique plus généralement pour compenser les effets des variations des caractéristiques de la préforme, par rapport aux valeurs de consigne. Elle permet de compenser les effets de ces variations sur les caractéristiques de la fibre – que celles-ci soient constantes ou non. Ainsi l'invention pourrait aussi s'appliquer au cas de préforme du genre de celles de WO-A-98 25 861, avec des valeurs de dispersion chromatique décroissantes, ou au cas de préformes du genre de celles de EP-A- 0 737 873, avec

des valeurs de dispersion chromatique discrètes et alternées. Dans tous les cas, l'invention permet de contrôler les caractéristiques de propagation de la fibre par rapport aux caractéristiques de propagation recherchées.

REVENDECATIONS

- 1.** Procédé de fabrication d'une fibre optique par étirage d'une préforme, comprenant :

5 – la détermination des variations des caractéristiques de la préforme par rapport aux caractéristiques de consigne, et

 – la modification du diamètre de la fibre au cours de l'étirage, en fonction des dites variations.
- 2.** Le procédé de la revendication 1, caractérisé en ce que la modification du

10 diamètre de la fibre s'effectue de sorte à compenser l'effet des dites variations sur les caractéristiques de propagation de la fibre.
- 3.** Le procédé de la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la préforme présente un diamètre extérieur constant, et en ce que l'étape de détermination comprend la mesure du diamètre du cœur de la préforme.
- 15 **4.** Le procédé de la revendication 3, caractérisé en ce que la modification du diamètre de la fibre s'effectue de sorte que la variation relative du diamètre est opposée à la variation relative du diamètre du cœur de la préforme.
- 5.** Le procédé de l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les dites

20 caractéristiques sont des caractéristiques géométriques, telles que le diamètre de la préforme, les rayons des couches de la préforme ou le diamètre du cœur de préforme.
- 6.** Le procédé de l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les dites caractéristiques sont des caractéristiques optiques, telles que les indices des différentes couches de la préforme.
- 25 **7.** Le procédé de l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les modifications du diamètre de la fibre sont inférieures à une valeur limite prédéterminée.

8. Le procédé de la revendication 7, caractérisé en ce que les modifications du diamètre de la fibre sont inférieures à 2 μm .
9. Le procédé de l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les modifications du diamètre de la fibre sont inférieures à $\pm 2\%$ du diamètre nominal de la fibre.
- 5
10. Une fibre optique obtenue selon le procédé de l'une des revendications 1 à 9.



